جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و سوم، بهار ۱۳۹۹

صص ١٦٧- ١٥٥

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.88703

مقاله پژوهشی

اثر فعالیت‌های آنتروپوژنیک بر مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های کشاورزی

امیر محسنی - دکترای علوم خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

ندا محسنی[1] - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

سید رضا حسین زاده - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/٦/٢٧ تاریخ تصویب:۱۳۹۹/۷/۲۳

چکیده

آلودگی‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب و تنزل کیفیت بیوسفر و اجزای آن محسوب شده و در این میان فلزات سنگین از دیدگاه‌های زیستی، اکولوژیکی و سلامتی بشر از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات غلظت عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی در خاک‌های تحت کشت اطراف معدن سرب و روی زنجان و همچنین احتمال خطرپذیری (HQ) به بیماری‌های مرتبط با این عناصر از طریق مصرف محصول مورد نظر صورت پذیرفت. بدین منظور ٤ فاصله مکانی مختلف انتخاب (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ کیلومتر فاصله از معدن) و از هر محدوده ۳ نمونه خاک و ۱۰ نمونه گیاه گندم برداشت شد. عصاره‌های نمونه‌های خاک با استفاده از DTPA و اسید نیتریک ٤ مولار و عصاره‌های گیاه با استفاده از اسید نیتریک ٦٥٪ استخراج و غلظت فلزات با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت کل و قابل دسترس هر چهار عنصر در خاک و همچنین غلظت این عناصر در دانه گندم با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. بیش‌ترین غلظت سرب (۵۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مس (٤٨/٨ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۷۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از دانه برداشت شده از فواصل ۱۰ کیلومتری از معدن و کمترین غلظت این عناصر از دانه برداشت شده از فاصله ٤٠ کیلومتری از معدن و به ترتیب برابر ۳۱/۸، ۰/۲، ۲/۷ و ۳۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی برای هر یک از عناصر با فاصله از معدن نشان داد که مقادیر احتمال خطرپذیری به بیماری برای عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. همچنین به استثناء عنصر سرب، مقادیر خطرپذیری در هر چهار

۱- نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۹۱٦۹٤۳ Email: nedamohseni@um.ac.ir

منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱ بود. این نتایج نشان‌دهنده این است مصرف‌کنندگان این محصولات در محدوده امن از نظر تأثیرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از غلظت بالای سرب قرار نخواهند گرفت. همچنین علی‌رغم پایین بودن مقادیر HQ عناصر روی، مس و کادمیوم، احتمال افزایش این مقادیر در سال-های آتی برای این عناصر، به‌ویژه عناصر کادمیوم و مس وجود خواهد داشت؛ بنابراین می‌بایست توجه زیادی به مصرف و کشت در اطراف مناطق صنعتی، صورت گیرد.

کلیدواژه‌ها: ضریب خطر، فلز سنگین، مخاطره زیست‌محیطی، اکوسیستم‌های کشاورزی.

۱- مقدمه

از مهم‌ترین عوامل محیطی که تأثیر زیادی بر رشد گیاهان و کمیت و کیفیت آن‌ها دارد، می‌توان به اقلیم، عناصر غذایی و فلزات سنگین اشاره نمود (استریت[1]، ۲۰۱۲). فلزات سنگین از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها هستند که به دلیل ماندگاری زیاد، عدم تجزیه توسط ریزجانداران خاک و ورود به چرخه غذایی انسان معروف هستند (آلووی[2]، ۲۰۱۳). فلزات سنگین موجود در خاک یا به شکل طبیعی و از مواد مادری خاک منشأ می‌گیرند و یا از طریق آلاینده‌های محیطی وارد خاک می‌شوند. آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین عمدتاً به فناوری‌های نوظهور نسبت داده می‌شود که معمولاً از فعالیت کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی، فرونشست‌های اتمسفری، استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری، کودهای حیوانی، کودهای شیمیایی، سموم دفع آفات، آهک‌دهی و غیره سرچشمه می‌گیرد (کاباتا-پندیاس و پندیاس[3]، ۲۰۱۰). فلزات را از نظر تغذیه گیاه می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول شامل برخی از عناصر مانند مس (Cu)، نیکل (Ni)، سلنیم (Se) و روی (Zn) که در غلظت‌های کم برای سلامت، رشد و تولید ریزجانداران، گیاهان، حیوانات و همچنین انسان‌ها ضروری می‌باشند. گروه دیگر از عناصر مانند سرب (Pb)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg) جزء عناصر ضروری نبوده و ممکن است که در غلظت‌های کم نیز در گیاهان و جانوران ایجاد سمیّت کنند (یادو[4]، ۲۰۱۰). آلودگی خاک‌ها با فلزات سنگین به دلیل خطرات آن بر اکوسیستم ازجمله خاک، آب، گیاهان، حیوانات و حیات بشر به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (عبدالکدیر[5] و همکاران، ۲۰۱۳). در سراسر جهان، بیش از ۱۰ میلیون مکان آلوده گزارش شده است که بیش از ۵۰ درصد این مکان‌ها، آلوده به فلزات سنگین هستند (آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[6]، ۲۰۰٦). در ایران نیز با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، نگرانی قابل‌ملاحظه‌ای در مورد آلودگی خاک‌ها توسط فلزات سنگین وجود

1 Street
2 Alloway
3 Kabata-Pendias and Pendias
4 Yadav
5 Abdel-Kader
6 United states environmental protection agency (USEPA)

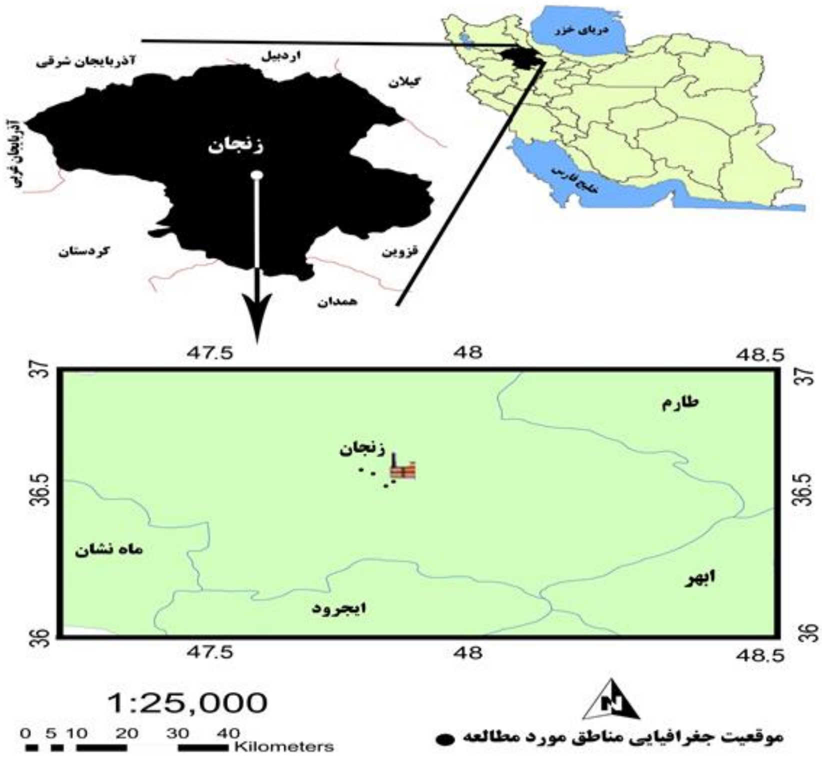
دارد. استان زنجان به‌واسطه دارا بودن معادن زیاد فلزات سنگین، یکی از صنعتی‌ترین شهرهای ایران به‌شمار می‌رود. به‌طورکلی وجود سایت‌های فلزی بزرگ در این استان و انتشار ضایعات ایجادشده آن‌ها توسط باد و رواناب به مناطق دیگر می‌تواند ازجمله دلایل اصلی افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک‌های برخی از مناطق این استان باشدY به‌طوری که در فواصل دور از این سایت‌های معدنکاری آلودگی خاک‌ها نیز دور از اجتناب نخواهد بود. محصولات کشاورزی که در مناطق آلوده کشت می‌شوند به روش مستقیم از طریق ریشه و به‌صورت غیر مستقیم نیز از طریق فرونشست‌های اتمسفری آلوده می‌شوند. همچنین گزارش شده است که محصولات کشاورزی استان زنجان در برخی از مناطق به‌شدت آلوده به فلزات سنگین می‌باشند و این عناصر می‌توانند وارد چرخه غذایی انسان شده و از این طریق سلامتی انسان و دام را تحت تأثیر قرار دهند (چهرگانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ تابنده و طاهری، ۱۳۹۵). خطر حاصل از جذب فلزات سنگین توسط گیاه و مصرف آن توسط انسان با احتمال خطرپذیری[1] زیستی (HQ) ارزیابی می‌شود. دامنه امن برای HQ مقادیر کمتر از ۱ می‌باشد، هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر و یا بیشتر از واحد شود، نشان‌دهنده خطر فزاینده آن فلز سنگین برای سلامتی انسان است (کاین[2] و همکاران، ۲۰۱۰). افشاری و همکاران (۱۳۹٤) احتمال خطرپذیری از مصرف محصولات کشاورزی مناطق شهری و صنعتی زنجان را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها غلظت بالای فلزات سنگین را در خاک و برخی گیاهان را به فعالیت‌های صنعتی موجود در منطقه نسبت دادند و مقدار پتانسیل خطرپذیری برای عنصر سرب از مصرف محصولات کشاورزی در این منطقه را بزرگ‌تر از ۱ گزارش کردند. بقائی و کشاورزی (۱۳۹۸) در ارتباط با ارزیابی خطر سلامتی کادمیوم در محصولات گلخانه‌ای برداشت شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه نشان دادند که احتمال خطرپذیری برای عناصر کادمیوم از مصرف سبزیجات گلخانه‌ای بزرگ‌تر از ۱ بوده و توجه به مصرف محصولات گلخانه‌ای تولیدشده در اطراف معدن ایرانکوه باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. صالحی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی خطرپذیری عناصر سنگین از مصرف گندم کشت شده در استان همدان گزارش کردند که احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی برای عناصر مس و کروم کمتر از ۱ بوده و ساکنان مصرف کننده این محصول در محدوده امن از نظر تأثیرات سوء بیماری‌های غیرسرطانی قرار دارند. ازآنجاکه در استان زنجان به‌رغم دارا بودن معادن بسیار، مطالعه جامعی بر روی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های تحت کشت گیاه (به ویژه گیاهان زراعی) صورت نگرفته است، لذا این مطالعه با هدف ارزیابی تغییرات غلظت عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم در خاک و دانه گندم با فاصله از معدن سرب و روی زنجان و ارزیابی خطرپذیری این عناصر بر سلامت انسان انجام شد.

1 Hazard quotient
2 Qian

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقهٔ مطالعاتی در جنوب شهر زنجان و در اطراف شهرک صنعتی روی واقع شده است (شکل ۱). این شهرک در سال ۱۳۷۵ تأسیس شده و دارای ۴۲ واحد بهره‌برداری روی است. در این شهرک سالانه با مصرف بیش از یک‌میلیون تن سنگ خام روی، ۰/۱۹ میلیون تن فلز روی تولید می‌شود (دلاور و صفری، ۱۳۹٤). در محدودهٔ این شهرک، بیش از ۲/۵ میلیون تن پسماند حاوی فلزات سنگین انباشته شده است و فعالیت‌های صنعتی انجام گرفته در آن، احتمال تجمع فلزات سنگین مختلف در خاک‌های اطراف را فراهم نموده است. مساحت منطقه مورد مطالعه، بالغ بر ۵۰۰۰ هکتار است. کاربری‌های عمدهٔ اراضی موجود در این ناحیه شامل مناطق صنعتی، کشاورزی، مرتع و مخلوط مرتع و کشت دیم است (دلاور و صفری، ۱۳۹٤). این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع ۱٦۵۹ متر می‌باشد. همچنین متوسط بارش ، دما و رطوبت سالیانه منطقه به‌ترتیب ۲۹۵ میلی‌متر، ۱۰/۹ درجه سلسیوس و ۵٤٪ است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

۲-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های خاک و گیاه

این مطالعه به صورت توصیفی-مقطعی بر روی نمونه‌های خاک و گیاه گندم کشت شده در اطراف شهرک روی زنجان به‌صورت تصادفی انجام شد؛ به‌نحوی که نمونه‌ها بتواند گویای وضعیت پراکنش آلودگی سرب، کادمیوم، مس و روی منطقه باشند. بدین منظور ۱۰ نمونه گیاه گندم در فصل برداشت از شعاع ۱۰ تا ٤۰ کیلومتری (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ کیلومتری از معدن) شهرک روی زنجان به صورت تصادفی برداشت شد. پس از جدا کردن دانه گیاه از سایر بخش‌ها، نمونه‌ها در آون به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس عصاره‌های گیاه با استفاده از هضم با اسید نیتریک ٦٥٪ استخراج و غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (لوزانو-رودریگز[۱] و همکاران، ۱۹۹۵). همچنین به‌منظور بررسی تغییرات غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی خاک با فاصله از معدن تعداد ۳ نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در هر فاصله مشخص از معدن (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ کیلومتری از معدن) برداشت گردید. غلظت قابل‌دسترس و کل عناصر سرب، مس، روی و کادمیوم در نمونه‌های مورد مطالعه پس از هواخشک و انتقال آن‌ها از الک ۲ میلی‌متر به‌ترتیب با روش DTPA-TEA[۲] (لیندزی و نورول[۳]، ۱۹۷۸) و اسید نیتریک ٤ مولار (اسپوزیتو[٤] و همکاران، ۱۹۸۲) استخراج و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

۲-۳- محاسبه احتمال خطرپذیری

به‌منظور محاسبه شاخص خطرپذیری و مواجهه با بیماری‌ها، در ابتدا مقدار ورود عناصر سنگین به دستگاه گوارش انسان (Intake) بر حسب $mg\ kg\ day^{-1}$ محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$Intake = \frac{C_F \times E_F \times E_D \times F_I \times I_R}{B_W \times A_T} \quad \text{(۱) رابطه}$$

در این رابطه C_F، E_F، E_D، F_I، I_R، B_W و A_T به‌ترتیب نشان دهنده غلظت فلزات سنگین دانه گندم ($mg\ kg^{-1}$)، دفعات مصرف دانه گندم در سال، تعداد سال‌های مصرف دانه (۳۰ سال برای بزرگسالان)، مقدار جذب فلز سنگین در بدن از طریق مصرف دانه (استفاده از ضریب ۰/٤ برای این تحقیق)، میزان مصرف روزانه برای افراد بالغ ($g\ day^{-1}$) (مصرف روزانه گندم ۳۰۰ گرم در نظر گرفته شد)، وزن بدن (kg) (متوسط ٦۰ کیلوگرم برای افراد بالغ) و حاصل‌ضرب تعداد سال مصرف دانه در تعداد روزهای سال (days) می‌باشد (راتان[٥] و همکاران، ۲۰۰٥).

---
1 Lozano-Rodríguez
2 Diethylenetriamine pentaacetic acid
3 Lindsay and Norvell
4 Sposito
5 Rattan

بعد از محاسبه مقدار روزانه جذب فلزات سنگین، احتمـــال خطرپـــذیری (HQ) بـــه بیماری‌های غیرسرطانی در اثر مصرف محصولات آلوده با فلزات سنگین با استفاده از رابطه زیر مشخص شد (رابطه ۲).

$$HQ = \frac{Intake}{RfD}$$ رابطه (۲)

در این رابطه RfD[1] حـداکثر غلظتی از فلز سنگین است که برای انسان مشکلی ایجاد نمی‌کنـد. مقـدار آن برای سرب، کادمیوم، مس و روی بـه ترتیـب ۰/۰۰٤، ۰/۰۰۱، ۰/۰٤ و ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد (وانگ[2] و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-٤- تجزیه و تحلیل آماری

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف– اسمیرنوف[3] بررسی شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون اختلاف آماری بین غلظت فلزات در خاک و بافت‌های گیاهی با تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین غلظت فلزات در خاک و گیاه و همچنین مقایسه میانگین احتمال خطرپذیری به بیماری در عناصر مورد مطالعه نیـز با آزمون توکی انجام شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار R-3.4.0 انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- غلظت فلزات سنگین در خاک‌های مناطق مطالعاتی

نتایج مقایسه میانگین غلظت کل و قابل جذب سرب، کادمیوم، مس و روی خاک‌های برداشت شده از شعاع ۱۰ تا ٤۰ کیلومتری معدن در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که غلظت کل و قابل جذب هر چهار عنصر بـا افزایش فاصله از معدن به‌طور معناداری کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین غلظت کل سرب، کادمیوم، روی و مس از خاک برداشت شده در فاصله ۱۰ کیلومتری (S1) معدن به ترتیب برابر با ۱٦۸/۹، ٥/٦، ٤۳٤/٥ و ۹۷/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین غلظت کل این عناصر نیز در نمونه خاک‌های برداشت شده از فاصله ٤۰ کیلـومتری معدن (S4) و به ترتیب برابر با ٥۹/۱، ۱/۱، ۸۸/٥ و ۲۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. غلظت قابل دسترس هر چهار عنصر نیز با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین غلظت قابل‌دسترس سـرب، کـادمیوم، روی و مس از خاک برداشت شده در فاصله ۱۰ کیلومتری معدن و به ترتیب برابر با ٤٥/٦، ۱/۷، ٥۲/٤ و ۲٤/۸ میلی-گرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین غلظت قابل‌دسترس این عناصر نیز در نمونه خاک‌های برداشت شده از فاصله ٤۰ کیلومتری معدن و به ترتیب برابر با ۹/٦، ۰/۲، ۱٤/۳ و ۱/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. با این حال اختلاف معناداری بین غلظت قابل‌دسترس سرب خاک برداشت شده از فاصله ۳۰ (S3) و فاصله ٤۰ (S4) کیلومتری از معدن

1 Oral dose reference
2 Wang
3 Kolmogorov–Smirnov test

مشاهده نشد. بخش قابل‌دسترس یا زیست‌فراهم فلزات سنگین بخشی از مقدار کل عنصر در خاک است که می‌تواند توسط گیاهان جذب گردد (بلک[1] و همکاران، ۲۰۱۱). فلزات سنگین در بین فازهای مختلف در خاک توزیع می‌شوند که شامل محلول در آب، تبادلی، آلی، کربنات، اکسیدها و کانی‌های ثانویه و باقیمانده در داخل شبکه اولیه کانی می‌باشند. اجزای محلول و تبادلی به‌آسانی متحرک و فراهم می‌باشند؛ در صورتی‌که اجزای دیگر به‌ویژه جزء باقیمانده با پیوند سخت و بدون تحرک می‌باشند و انتظار نمی‌رود در شرایط طبیعی رهاسازی شوند (کامپین[2] و همکاران، ۲۰۰۸). درجه پیوند فلزات با فازهای ژئوشیمیایی مختلف به شرایط فیزیک‌وشیمیایی خاک‌ها شامل pH، مقدار کربنات کلسیم معادل، CEC، گونه‌های رقابتی در محلول خاک، مقدار مواد آلی و بافت خاک بستگی دارد (لیر[3] و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طورکلی وجود سایت‌های فلزی بزرگ در منطقه مورد مطالعه و انتشار ضایعات ایجادشده آن‌ها توسط باد و رواناب به مناطق دیگر می‌تواند ازجمله دلایل اصلی افزایش غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک‌های این منطقه باشد. به‌طوری که در فواصل دور از این سایت‌های معدنکاری آلودگی خاک‌ها دور از اجتناب نخواهد بود.

جدول ۱- مقایسه میانگین غلظت کل و قابل جذب سرب، کادمیوم، مس و روی خاک با فاصله از معدن

خاک	غلظت کل (mg kg^{-1})				غلظت قابل دسترس (mg kg^{-1})			
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
S1	١٦٨/٩±١٣/١ [a]	٥/٦±٠/٨ [a]	٤٣٤/٥±٩/٨ [a]	٩٧/٦±٧/٤ [a]	٤٥/٦±٢/٩ [a]	١/٧±٠/٠٤ [a]	٥٢/٤±٥/٣ [a]	٢٤/٨±٣/٩ [a]
S2	١١٣/٤±٤/٣ [b]	٤/٨±٠/٦ [b]	٢١٥/٩±١١/٣ [b]	٨٢/٤±٥/٣ [b]	٣٨/٨±٤/٣ [b]	١/٢±٠/٠٥ [b]	٤٣/٢±٤/٣ [b]	١٩/٣±٢/٦ [b]
S3	٩٣/٢±٥/٧ [c]	٢/٦±٠/٨ [c]	١٣٢/٣±٨/٧ [c]	٣٥/٣±٦/٦ [c]	١١/٤±٢/٦ [c]	٠/٦±٠/٠٤ [c]	٢١/٥±٢/٩ [c]	٦/٦±٢/٩ [c]
S4	٥٩/١±٤/٤ [d]	١/١±٠/٥ [d]	٨٨/٥±٩/١ [d]	٢٨/٩±٣/٧ [d]	٩/٦±٢/٩ [c]	٠/٢±٠/٠٣ [d]	١٤/٣±١/١ [d]	١/٩±٠/٨ [d]

S1: خاک برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ S2:خاک برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ S3:خاک برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ S4: خاک برداشت شده از فاصله ۴۰ کیلومتری از معدن.

۳-۲- غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در دانه گندم

نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس دانه با افزایش فاصله از معدن کاهش یافت. به‌طوری که بالاترین غلظت سرب (۵۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کادمیوم (۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (۷۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مس (٤٨/٨ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های دانه برداشت شده

1 Black
2 Kumpiene
3 Lair

از فاصله ۱۰ کیلومتری (GS1) از معدن به دست آمد. به دنبال آن دانه‌های برداشت شده از فواصل ۲۰ (GS2)، ۳۰ (GS3) و ٤۰ (GS4) کیلومتری معدن بالاترین غلظت فلزات سنگین را داشتند. همچنین بر خلاف عناصر روی، مس و کادمیوم، اختلاف معناداری در غلظت سرب دانه‌های GS3 و GS4 مشاهده نشد.

غلظت روی در نمونه‌های دانه GS1 و GS2 بالاتر از حدود ارائه شده توسط WHO[1] (۱۹۹۹) (٦۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. هانگ[2] و همکاران (۲۰۰۸) و جیا[3] و همکاران (۲۰۱۰) غلظت روی در دانه گندم کشته‌شده در مناطق آلوده کانشان و شاندانگ کشور چین را به‌ترتیب بین ۱۲ تا ۸۰ میلی‌گرم برکیلوگرم و ۲٤/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش کردند. ژائو[4] و همکاران (۲۰۰۹) دامنه روی در گندم نان را در این کشور بین ۱۳/۵ تا ۵۰/۸ با میانگین ۳۸/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش کردند. هودجی و جلالیان (۱۳۸۳) میزان روی را در گندم کشت شده در اطراف منطقه فولاد مبارکه را ٥٤/٤ میلی‌گرم برکیلوگرم خشک گزارش کردند.

دامنه طبیعی مس در بافت گیاه ٤ تا ۱۵ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش شده است (کاباتا–پندیاس و پندیاس، ۲۰۱۰). همچنین حد مجاز مس برای غلات توسط WHO (۱۹۹۹) ٤۰ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش شده است که بر این اساس نمونه‌های دانه گندم GS1 و GS2، بالاتر از این حد می‌باشند. کرمی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی غلظت مس گندم کشت شده در سه استان فارس، قم و اصفهان میانگین غلظت مس در گندم را حداقل ۲/٤ و حداکثر ۹/۳ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش کردند.

با توجه به حد استاندارد ارائه شده توسط WHO (۱۹۹۹) (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای غلظت مس در غلات، نمونه‌های گندم برداشت شده از هر چهار منطقه در دامنه آلودگی قرار دارند. عدم اختلاف معنادار غلظت سرب دانه گندم در گیاهان GS3 و GS4 می‌تواند ناشی از کاهش غیرمعنادار غلظت قابل‌دسترس این عنصر در خاک منطقه S4 در مقایسه با خاک S3 باشد. دلیل احتمالی دیگر از عدم کاهش معنادار غلظت سرب دانه GS4 نسب به GS3 می‌تواند مربوط به فرونشست‌های اتمسفری بیشتر این عنصر نسبت به سایر عناصر باشد. با توجه به موقعیت نمونه‌برداری گیاهان، یکی از بزرگ‌ترین عواملی که در افزایش غلظت برخی فلزات در دانه گیاهان شرکت می‌کند فرونشست‌های اتمسفری است (لو[5] و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه انجام شده توسط بای[6] و همکاران (۲۰۰۹) جذب اتمسفری سرب توسط برگ گیاه ذرت، به عنوان عامل اصلی افزایش سرب در داخل بافت‌های برگ و دانه گیاهان کشت شده در اطراف کارخانه ذوب روی گزارش شد.

1 World Health Organization
2 Huang
3 Jia
4 Zhao
5 Luo
6 Bi

حـد مجـاز کادمیوم برای غلات توسط WHO (۱۹۹۹) ۰/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم گزارش شده است که به استثناء GS4، غلظت کادمیوم دانه گندم برداشت شده از سایر فواصل از معدن در دامنه آلودگی قرار دارند. کادمیوم فلزی با تحرک و قابلیت جذب بالا در گیاه معرفی شده است که به راحتی از طریق ریشه جذب و سپس از طریق آپوپلاستی و یا سیمپلاستی به اندام‌های فوقانی انتقال می‌یابد (ترابیان و مهجوری، ۲۰۰۲). در مطالعه انجام شده توسط یـارقلی (۱۳۹٤) افزایش غلظت کادمیوم در دانه گندم در اثر افزایش غلظت کامیوم خاک گزارش شد.

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن

نمونه گیاه	غلظت فلز در دانه (mg kg⁻¹)			
	Pb	**Cd**	**Zn**	**Cu**
GS1	۵۹/۳±٤/۵[a]	۱/۳±۰/۰٦[a]	۷۹/۷±٦/٤[a]	٤۸/۸±۳/۷[a]
GS2	۵۱/٤±۳/٦[b]	۰/۹±۰/۰۷[b]	٦٦/۵±٤/۱[b]	٤۳/۳±۳/۳[b]
GS3	۳۳/۵±۱/۹[c]	۰/٤±۰/۰۲[c]	٤۸/۳±٤/۷[c]	۱۰/۱±۱/٦[c]
GS4	۳۱/۸±۲/٤[c]	۰/۲±۰/۰۲[d]	۳۷/۲±۱/۸[d]	۲/۷±۰/۹[d]

GS1: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ GS2: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ GS3: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ GS4: دانه‌های برداشت شده از فاصله ٤۰ کیلومتری از معدن.

۳-۳- پتانسیل مواجهه با بیماری عناصـر مـورد مطالعـه دردانه گنـدم

احتمال خطرپذیری (HQ) عناصر سرب، کادمیوم، روی و مس در گندم برای مصرف کننـده در جـدول ۳ بیان شـده اسـت. مقادیر پتانسیل خطرپذیری آلودگی هر عنصـر خـاص از طریق مصرف گندم با افزایش فاصله از معدن به‌طور معناداری کاهش پیدا کرد (به استثناء HQ سرب GS3 و GS4). مقادیر HQ آلودگی هـر عنصـــر در تمـامی فواصل از معدن زیر ۱ است (به استثناء عنصر سرب). این موضوع نشان می‌دهد که احتمال مواجهه با بیماری‌هـای غیرسرطانی ناشی از آن عنصر مورد نظر در تمام طـول زنـدگی بـرای مصرف کننده وجـود نخواهـد داشـت. اگـر مقدار HQ بزرگ‌تر از ۱ شود سـمّیت آن عنصـر ممکـن است اثرات سوء بر سلامت مصرف‌کننده بگذارد؛ بنابراین عنصر سرب دارای چنین ویژگی است و اعـداد مقـادیر HQ ایـن عنصـر در فواصـل ۱۰ (٦/۱۷)، ۲۰ (۵/۳۵)، ۳۰ (۳/۸٤۸) و ٤۰ (۳/۳۱) کیلومتری از معدن بالا و خطرناک است. به‌طورکلی مقدار HQ برای مصرف‌کنندگان از طریق مصـــرف گنـــدم بـــه این صـــورت بـــه‌دســـت آمـــد: Pb>Cd>Cu>Zn؛ این موضوع نشانده این است که علی-رغم پایین بودن مقادیر HQ عناصر روی، مس و کادمیوم، احتمال افزایش این مقادیر در سال‌هـای آتـی بـرای ایـن عناصر، به‌ویژه عنصر کادمیوم و مس وجود خواهد داشـت. افشـاری و همکـاران (۱۳۹٤) احتمـال خطرپـذیری از مصرف گندم برداشت شده از مناطق شهری و صنعتی زنجان را مورد ارزیابی قـرار دادنـد. آن‌ها بالاترین مقـدار HQ

را به ترتیب بـرای عناصر سرب، مس، روی، نیکل و کروم به دست آوردند. بیگی هرچگانی و بنـی طـالبی (۱۳۹۲) در بررسی خطرپذیری انباشت کادمیوم و سرب در دانه‌های گندم آبیاری شده با پساب شهری، غلظت Cd و Pb را در دانه‌هـای گنـدم بیشتر از ۱ گزارش کردند. فرهاگوت[1] و همکاران (۲۰۰۸) در ارزیابی خطر آرسنیک از مصـرف برنج در کاتالونیا اسپانیا مقادیر HQ بیشتر از ۱ را با افزایش غلظت آرسنیک خاک گزارش نمودند.

جدول ۳- مقایسه میانگین احتمال خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی از عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی دانه گندم برداشت شده از خاک‌های اطراف معدن

نمونه گیاه	احتمال خطرپذیری (HQ)			
	Pb	Cd	Zn	Cu
GS1	٦/١٧±١/١[a]	٠/٥٤±٠/٠٩[a]	٠/١٢±٠/٠٤[a]	٠/٤٨±٠/٠٨[a]
GS2	٥/٣٥±٠/٧[b]	٠/٣٧±٠/٠٥[b]	٠/٠٩±٠/٠٠٣[b]	٠/٤٢±٠/٠٣[b]
GS3	٣/٤٨±٠/٩[c]	٠/١٦±٠/٠٣[c]	٠/٠٦±٠/٠٠٢[c]	٠/١٠±٠/٠٥[c]
GS4	٣/٣١±٠/٣[c]	٠/٠٨±٠/٠١[d]	٠/٠٤±٠/٠٠٦[d]	٠/٠٢±٠/٠٧[d]

GS1: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۱۰ کیلومتری از معدن؛ GS2: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۲۰ کیلومتری از معدن؛ GS3: دانه‌های برداشت شده از فاصله ۳۰ کیلومتری از معدن؛ GS4: دانه‌های برداشت شده از فاصله ٤٠ کیلومتری از معدن.

٤- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه خاک‌ها و گیاهان اطـراف معدن سرب و روی زنجان نشان داد که غلظت عناصر سرب، روی، مس و کادمیوم در خاک و دانه گندم با افزایش فاصله از ۱۰ کیلومتر تا ٤٠ کیلومتر نسب به معدن کاهش یافت. مقدار پتانسیل خطر برای سلامتی (HQ) هر عنصـر خـاص از طریق مصرف گندم با افـزایش فاصـله از معـدن نیـز کاهش یافت و مقادیر آن برای تمامی عناصر به جز عنصر سرب زیر ۱ به دست آمد. ایـن موضـوع نشـان دهنـــده ایـن اسـت کـه مصرف کنندگان گندم کشت‌شده در نواحی اطراف معدنِ مورد مطالعه، بیشتـر در معـرض تـأثیرات غیرسـرطانی عنصر سرب هستند.

1 Ferre-Huguet

کتابنامه

افشاری، علی؛ خادمی، حسین؛ ایوبی، شمس اله؛ ۱۳۹٤. ارزیابی خطرپذیری آلودگی عناصر سنگین در خاک‌ها و برخی محصولات کشاورزی در اطراف شهر و مناطق صنعتی زنجان. *نشریه آب و خاک*. شماره ٤. ۱۵۱–۱٦۳.

بقائی، امیر حسین؛ کشاورزی، مهران؛ ۱۳۹۸. ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) در محصولات گلخانه‌ای برداشت شده از گلخانه‌های اطراف معدن ایرانکوه در سال ۱۳۹٦. *مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار*. شماره ۳. ۲۹۳–۳۰۲.

بیگی هرچگانی، حبیب اله؛ بنی طالبی، گلنوش؛ ۱۳۹۲. اثر بیستوسه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین در خاک، انتقال به دانه‌های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. *نشریه آب و خاک*. شماره ۳. ۵۷۰–۵۸۰.

تابنده، لیلا؛ طاهری، مهدی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی مواجهه با فلزات سنگین مس، روی، کادمیوم و سرب در سبزیجات کشت شده در مزارع استان زنجان. مجله سلامت و محیط زیست. *فصلنامهٔ علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*. شمار ۱. ٤۱–۵٦.

دلاور، محمد امیر؛ صفری، یاسر؛ ۱۳۹٤. منشأیابی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف شهرک روی زنجان با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. *نشریه آب و خاک*. شماره ۳. ٦۲۷–٦۳۷.

هودجی، مهران؛ جلالیان، احمد؛ ۱۳۸۳.پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. شماره ۸. ۵۵–٦۷.

یارقلی، بهمن؛ ۱۳۹٤. بررسی مقدار جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف چهار گیاه زراعی (گندم، اسفناج، خیار و هویج). *مجله آب و فاضلاب*. شماره ٦. ۱۰۷–۱۱٤.

Abdel-Kader NH, Shahin R, Khater HA., 2013. Assessment of Heavy Metals Immobilization in Artificially Contaminated Soils Using Some Local Amendments. Open Journal of Metal 3:68-76.

Alloway BJ., 2013. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer: Netherlands.

Bi XY, Feng XB, Yang YG, Li XD, Shin GPY, Li FL, Qiu GL, Li GH, Liu TZ, Fu ZY., 2009. Allocation and source attribution of lead and cadmium in maize (Zeamays L.) impacted by smelting emissions. Environmental Pollution 157: 834-839.

Black A, McLaren RG, Reichman SM, Speir TW, Condron LM., 2011. Evaluation of soil metal bioavailability estimates using two plant species (L. perenne and T. aestivum) grown in a range of agricultural soils treated with biosolids and metal salts. Environmental Pollution 159(6): 1523-1535.

Chehregani A, Noori M, Lari Yazdi H., 2009. Phytoremediation of heavy-metal-polluted soils: Screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 1349–1353.

Ferre-Huguet N, Marti-Cid R, Schuhmacher M, Domingo JL., 2008. Risk assessment of metals from consuming vegetables, fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro River in Catalonia, Spain.Biol Trace Elem Res 123: 66-79.

http://www.epa.gov/iris/subst.

Huang M. Zhou S. Sun B. Zhao Q., 2008. Heavy metals in wheat grain: assessment of potential health risk for inhabitants in Kunshan, China. Science of the Total Environment 405: 54-61.

Jia L, Wang W, Li Y, Yang L. 2010. Heavy metals in soil and crops of an intensively Farmed area: A case study in Yucheng city, Shandong province, China. International Journal of Environmental Research and Public Health 7: 395-412.

Joint FAO/WHO export committee on food additives. Summary and conclusions, 53rd meeting. Rome: Joint FAO/WHO, 1999. Technical Report.

Karami M, Afyuni M, Rezainejad Y, Schulin R., 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludgeamended calcareous soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 83: 51-61.

Kumpiene J, Lagerkvist A, Mauri C., 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments–a review. Waste Management 28(1): 215-225.

Lair GJ, Gerzabek MH, Haberhauer G., 2007. Retention of copper, cadmium and zinc in soil and its textural fractions influenced by long-term field management. European Journal of Soil Science 58:1145-1154.

Lindsay WL, Norvell W. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42(3):421–428.

Lozano-Rodríguez E, Luguera M, Lucena J, Carpena-Ruiz R., 1995. Evaluation of two different acid digestion methods in closed systems for trace element determinations in plants. Quimica Analitica-Bellaterra 14: 27-27.

Luo C, Liu C, Wang Y, Liu X, Li F, Zhang G, Li X. 2011. Heavy metal contamination in soils and vegetable near an e-waste processing site, south China. Journal of Hazardous Materials 186: 481-490.

Qian YZ, Chen C, Zhang Q, Li Y, Chen Zh, Li M., 2010. Concentration of cadmium, lead, mercury and arsenic in Chinese market milled rice and associated population health risk. Food Control 21: 1757-1763.

Rattan RK, Datta Sp, Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK., 2005. Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater- a case stady. Agriculture, Ecosystems & Environment 109:3-4: 310-22.

Salehipour M, Ghorbani H, Kheirabadi H, Afyuni M., 2015. Health risks from heavy metals via consumption of cereals and vegetables in Isfahan Province, Iran. Human and ecological risk assessment: an international journal 21(7):1920-1935.

Sposito G, Lund L, Chang A., 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal 46(2):260–264.

Street R., 2012. Heavy metals in medicinal plant products—An African perspective. South African Journal of Botany 82: 67-74.

Torabian A, Mahjouri M., 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. Journal of Environtal Study Science 16:255-263.

USEPA, IRIS., 2006. United States Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System.

Wang X., Sato T., Xing B., and Tao S., 2005. Health risks of heavy metals to the gereral public in Tianjin, China via

Yadav S., 2010. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany 76(2): 167-179.

Zhao FJ, Su YH, Dunham SJ, Rakszegi M, Bedo Z, McGrath SP, Shewry PR., 2009. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. Journal of Cereal Science 49: 290-295.